

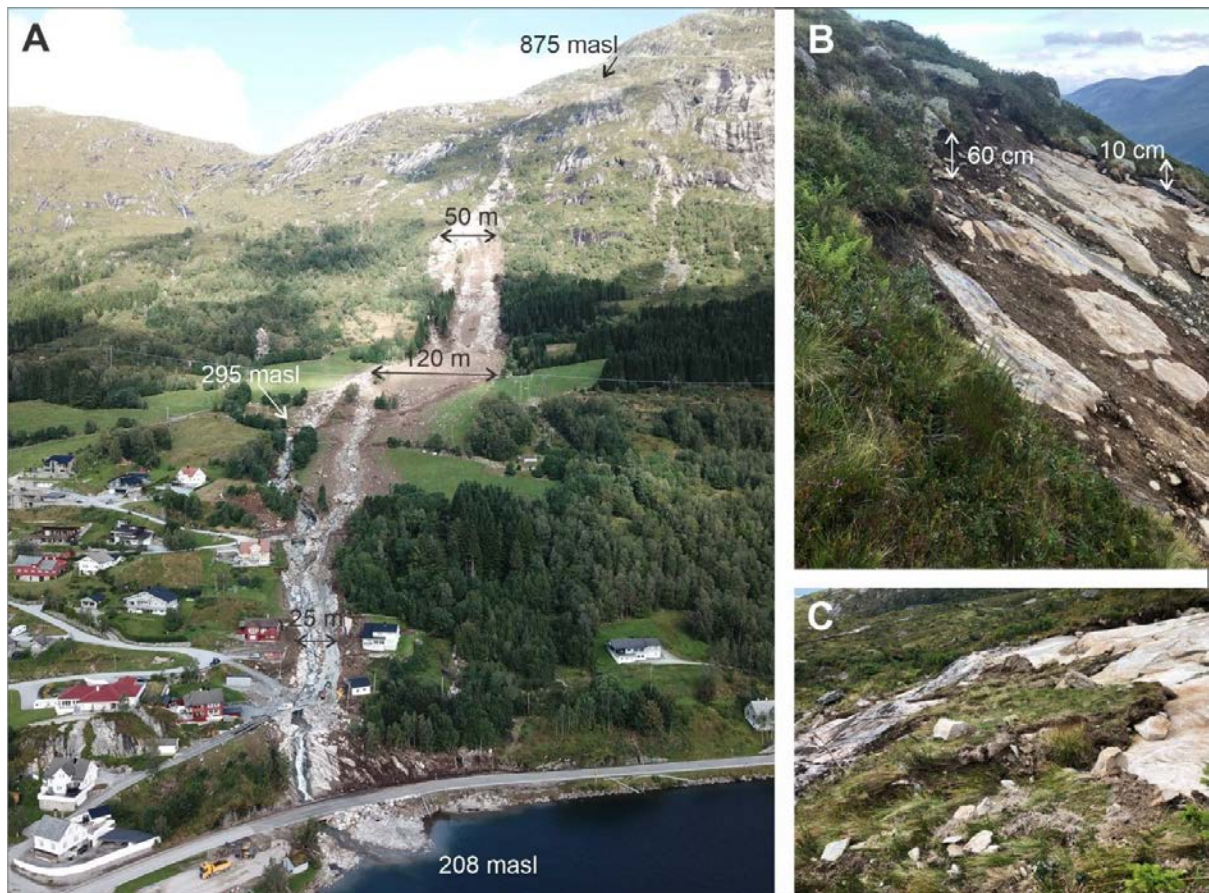
Håndtering av skredrisiko i et endret klima

Bjørn Kalsnes, Unni K. Eidsvig, Håkon Heyerdahl, Luca Piciullo, Anders Solheim, James M. Strout, Hervé Vicari (alle NGI)

Med et endret klima vil skredaktiviteten øke og skredrisikoen endre seg. Dette har det norske samfunnet innsett, og det er derfor iverksatt ulike typer tiltak for å forberede seg på et slikt scenario. Denne artikkelen gir noen innblikk i hvordan dette gjøres. For det første trengs kunnskap om hvordan klimaendringer vil påvirke skredfare, både hva angår typer av skredfare og hvor i landet de forskjellige typer skredfarene endres. Dessuten må forvaltningen og andre aktører rustes opp for å møte det endrede risikobildet med hensyn til skredfare. Ulike tiltak for å redusere risikoen inkluderer kartlegging, varsling og gjennomføring av konkrete sikringstiltak. Men dette koster; denne artikkelen viser til et nylig avsluttet prosjekt i regi av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), hvor kostnader for å sikre den eksisterende bebyggelsen mot flom og skred ble beregnet. For å komme i mål er forskning om klimaeffektene på skredfare viktig. Ulike forskningsprogrammer, nasjonalt som internasjonalt, prøver å utvikle løsninger knyttet til håndtering av skredrisiko. Artikkelen gir et kort innblikk i innovasjonsaktiviteter som gjøres i forskningsprosjektet *Klima 2050*.

Innledning

En av de mer alvorlige forventede effektene av forventede klimaendringer, er økt antall av dramatiske tilfeller av flom, stormflo, sterk vind og skred. Været blir villere og våtere (Hanssen-Bauer m.fl. 2015), med sterkere vind, mer nedbør og høyere nedbørintensiteter og økte mengder overflateavrenning. Hus og infrastruktur blir mer eksponert for ekstreme værrelaterte situasjoner, kritisk infrastruktur kan i økende grad bli rammet, og for store arealer kan muligheten for ny bosetting bli redusert. Til en viss grad opplever vi disse endringene allerede i dag, slik det ble demonstrert ved de dramatiske flomskredene i Jølster den 30. juli 2019 (figur 1), som resultat av en ekstrem nedbørshendelse. Antakelig har vi likevel bare sett starten på det som kan vise seg å bli nesten uoverkommelige utfordringer. Vi må med andre ord allerede nå forberede oss på en framtid som kan være ganske annerledes enn dagens.



Figur 1

Denne artikkelen tar for seg strategier for å håndtere skredrisiko i et endret klima. Hva finnes i vår verktøykasse slik at vi er forberedt å møte en virkelighet som kan være ganske annerledes enn dagens? Risiko er produktet av sannsynlighet og konsekvens. Risiko kan knytte seg både til menneskelige (helse, liv) og økonomiske verdier, men også til miljømessige verdier. Vi blir i økende grad oppmerksomme på at klima og natur henger i hop; tiltak for å redusere den negative effekten av at klimaet endres, må ikke gå på bekostning av naturen selv. Bruk av naturbaserte løsninger for å redusere skredrisiko er derfor i den senere tid blitt en populær mulighet.

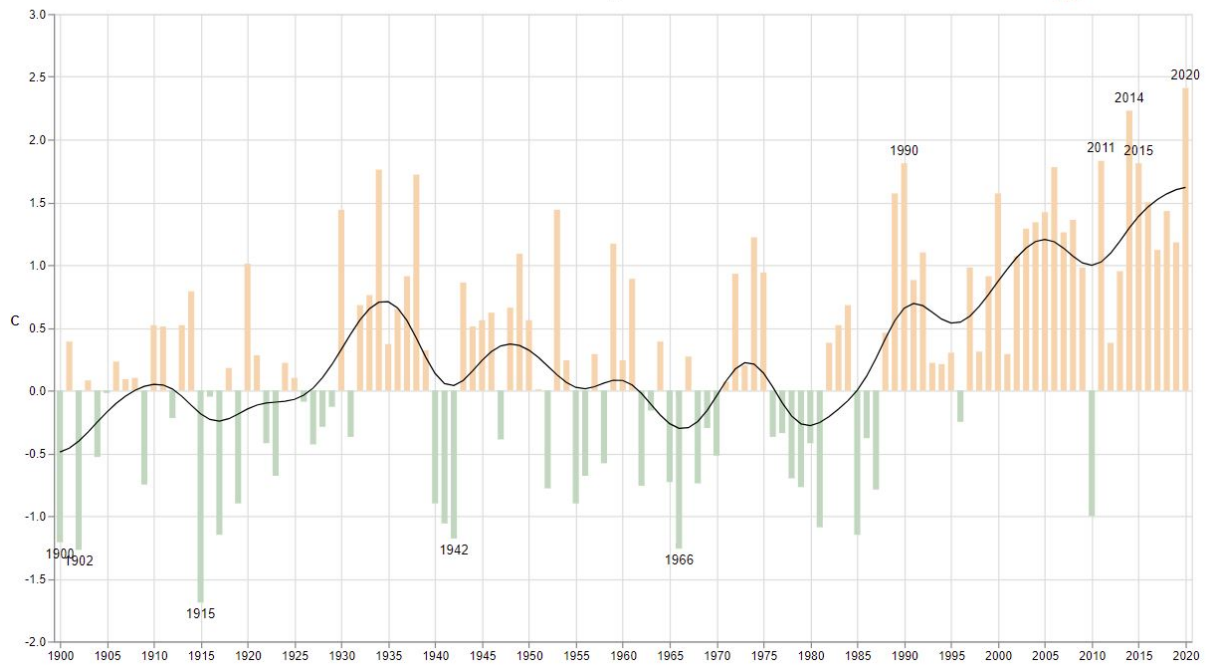
Det å sikre et framtidig Norge mot klimarelaterte skred innebærer en mengde ulike tiltak. Vi må skaffe kunnskap om de fysiske prosessene; hva er det som utløser et skred, når og under

hvilke betingelser skjer dette, hvor langt vil et skred gå, hvilke materialer er utsatt for ulike typer skred, og hvilke klimatiske parametre er avgjørende for skredaktiviteter? Kartlegging av skredfare er en sentral del av skredfarehåndteringen. Slik kartlegging foretas delvis i NVEs regi, delvis av kommuner, infrastruktureiere og private aktører, og er beskrevet i en separat artikkel av Skuset og Slåtten i denne utgaven av *Naturen*. Når skredfaren er kartlagt, må vi sørge for skredsikring der det er nødvendig. Hvordan kan det gjøres, hva er økonomisk og menneskelig akseptabelt? Alt dette må foregå innenfor forvaltningens rammer, med hensyn til involvering av det offentlige (kommune, stat), enkeltpersoner, og interessenter i det store og hele. Alle disse aktivitetene er lenket til forskning: Hvordan kan vi så optimalt som mulig utnytte ressursene vi har til å redusere risikoen for skred til et akseptabelt nivå; i dag så vel som i en fremtid med et endret klima? I den sammenheng er det også viktig å merke seg at å sikte mot «null risiko» er utenkelig. Lovverket setter visse krav til sikkerhet mot skred, flom og andre hendelser, og dette betyr på den annen side at man samtidig aksepterer at skredhendelser i noen grad gir – og vil gi – skadelige konsekvenser.

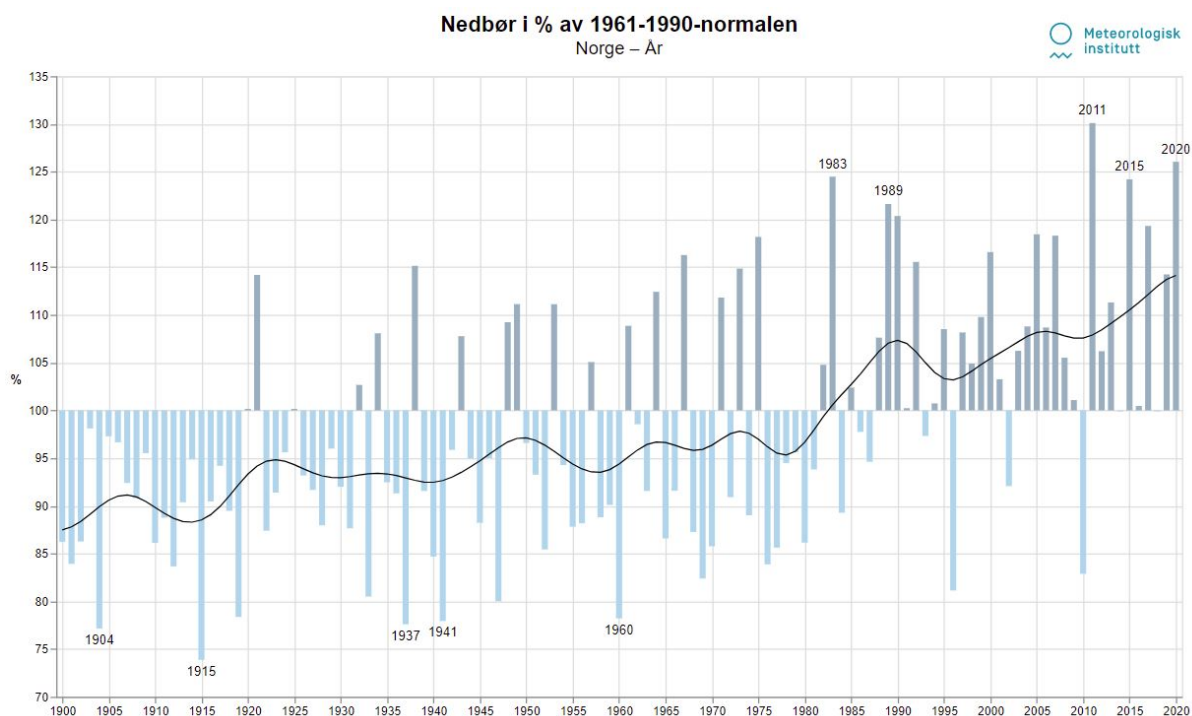
Klimaets påvirkning på ulike skredfaretyper

De siste hundre årene har vi i Norge observert en temperaturøkning på omtrent 1 °C, mens nedbøren har økt med omtrent 18 prosent på landsbasis (Hanssen-Bauer m.fl. 2015) – se figur 2 og 3. Klimaframskrivninger frem mot år 2100 tilsier en fortsatt økning i temperatur og nedbør – i hele landet og for de fleste årstider. Klimaframskrivningene er beheftet med relativt mye usikkerhet. Usikkerheten er knyttet til forenklinger i selve modellene, samt til fremtidig mengde av menneskeskapte utslipp, både når det gjelder framtidig økonomisk aktivitet, økning i folketall, valg av energikilder, energieffektivitet og andre samfunnsøkonomiske faktorer. I tillegg er det usikkerhet knyttet til naturlige klimavariasjoner og klimasystemets følsomhet. Det kompenseres noe for usikkerhetene ved å benytte flere klimamodeller sammen, samt å benytte forskjellige utslippsscenarioer. I estimatene som er vanligst for Norge, og som brukes i denne artikkelen, benyttes medianframskrivningene (50-persentilet) av klimamodellene for utslippsscenario RCP8,5 – det såkalte *business as usual*-scenariet (IPCC 2014; Hanssen-Bauer m.fl. 2015). De påfølgende avsnittene i denne artikkelen er basert på Hanssen-Bauer m.fl. (2015) og fylkesvise klimaprofiler fra Norsk Klimaservicesenter (<https://klimaservicesenter.no/>).

Temperaturavvik fra 1961-1990-normal
Norge – År



Figur 2



Figur 3

Temperatur

Selv om nedbør er det værelementet som påvirker skredfare mest, har temperatur også en påvirkning. Den forventede temperaturøkningen i Norge, på ca. 4,5 °C mot år 2100 (med regionale forskjeller), medfører at en større andel av nedbøren vinterstid faller som regn, snøsesongen reduseres i hele Norge, og maksimal snømengde i løpet av året reduseres de aller fleste steder. For enkelte deler av høyfjellet beregnes imidlertid en økning i maksimal snømengde, fordi mye av den forventede nedbørøkningen her vil komme som snø. I tillegg vil temperaturøkninger medføre at grensen for permafrost vil stige med 200–300 høydemeter mot år 2100, slik at vi kun vil ha permafrost på de høyeste fjelltoppene både i Sør- og Nord-Norge. Dette kan medføre ulik skred- og erosjonsproblematikk i områder som tidligere ikke har vært utsatt for dette. Når det gjelder flom, vil endringer i temperatur føre til tidligere vårflommer, samt at faren for flommer sent på høsten og om vinteren også øker.

Nedbør

For nedbør er det forventet en økning i årsnedbør, samt både i frekvens og intensitet av ekstremnedbør. Analyser viser at det kan bli store økninger i intens nedbør for kortere varigheter enn ett døgn. Enkelte studier viser at vi kan forvente en sterk økning i intensitet og en nærmest dobling i hyppighet av de mest ekstreme nedbørhendelsene (Myhre m.fl. 2019; Hansen-Bauer m.fl. 2015). Økningen i årsnedbør følger langtidstrenden gjennom forrige århundre, selv om beregnet temperaturøkning for inneværende århundre med fortsatte klimagassutslipp, er 3–5 ganger høyere enn den observerte temperaturøkningen de siste hundre årene. Dette medfører at man ikke kan utelukke en enda større nedbørsøkning enn modellene tilsier – klimasimuleringene for nedbør er mindre robuste enn simuleringene for temperatur.

Økt nedbør vil generelt føre til hyppigere tilfeller av flom og skred. Avhengig av grunnforhold vil imidlertid samme nedbørsmengde ha forskjellig effekt på skredutløsning. I typiske moreneskråninger i bratte dalsider vil man normalt ha større sannsynlighet for å utløse skred dersom nedbøren kommer fordelt over et kort tidsintervall enn dersom den samme nedbøren fordeles over lang tid. For leirskråninger er det motsatt; kortvarige skurer vil her bare unntaksvis føre til skred. Skredfare er basert på lokale terrengforhold, men været er ofte en utløsende faktor. Spesielt i bratt terreng og i mindre nedbørfelt med rask responstid, kan klimaendringene gi økt hyppighet av skred knyttet til kraftig nedbør. Dette gjelder først og fremst jordskred, flomskred og sørpeskred. Økt erosjon som følge av hyppigere og større regnflommer, ofte forsterket av menneskelige inngrep, kan utløse flere kvikkleireskred. Det fatale skredet på Ask i Gjerdrum den 30. desember 2020 er et dramatisk eksempel på dette. I tillegg vil økt avrenning og vann på avveie medføre større fare for erosjon og sedimenttransport i små nedbørfelt. Dette kan være en minst like stor utfordring som selve flomvannføringen, og fører ofte til økt fare for gjentetting av stikkrenner og dreneringsveier, som igjen kan utløse vannrelaterte løsmasseskred.

I sum forventer vi følgende endringer i skredsituasjonen i Norge som følge av klimaendringer:

- På kort sikt kan hyppigheten av snøskred øke, grunnet mer nedbør. På lengre sikt, mot slutten av århundret, vil snøskredhyppigheten avta, særlig i lavereliggende områder der det meste av infrastrukturen finnes, dette på grunn av at både snøgrensen og tregrensen stiger. Samlet snødekt areal avtar, samtidig med at snøsesongen blir vesentlig kortere.
- Mildere vintre og hyppigere nedbør i form av regn i vinterhalvåret kan forårsake økt hyppighet av sørpeskred utløst av «regn-på-snø»-hendelser og akkumulasjon av vann i snødekket.

- Jord- og flomskred vil øke i hyppighet med økende nedbør. I og med at nedbør er den dominerende utløsende faktoren for slike skred, er det en nesten en-til-en-sammenheng mellom nedbør, spesielt ekstremnedbør i form av mye nedbør på kort tid, og denne type skred.
- Erosjon i bekker og elver er den vanligste naturlige utløsningsårsaken til kvikkleireskred. Det er likevel viktig å være klar over at de fleste kvikkleireskred i nyere tid er utløst av menneskelig aktivitet. Økt nedbør gir økt hyppighet og intensitet av flommer, noe som igjen kan øke erosjonen og føre til flere skred. Hvorvidt erosjon langs en bekk i en ravine faktisk utgjør en risiko i denne forbindelse, vil henge sammen med beliggenhet av kvikkleire i skrånningen, og av stabilitetsforholdene.
- Hyppigheten av steinsprang og steinskred kan forventes å øke utover i dette århundret. Disse hendelsene utløses av en rekke forskjellige faktorer. Skredaktiviteten påvirkes av langvarige geologiske prosesser, bergmassivets oppsprekking, forkastninger osv., men temperatur og nedbør er de viktigste faktorene for skredutløsning på kort sikt. Fryse-tineprosesser er en viktig utløsende faktor, og slike prosesser kan bli mer aktive i områder der temperaturer oftere enn tidligere svinger rundt 0 °C. Nedbør er også ofte en utløsende faktor for steinsprang og steinskred, der økt poretrykk i sprekker kan bidra til å mobilisere allerede delvis utløste blokker.

Forvaltning og kommunal håndtering

Det stilles krav om gjennomføring av risiko- og sårbarhetsanalyser (ROS-analyser), og derunder vurdering av skredfare, både for ny bebyggelse (gjennom plan- og bygningsloven) og for eksisterende bebyggelse (gjennom sivilbeskyttelsesloven).

Plan- og bygningsloven setter krav til vurdering av fare for naturskade ved all planleggings- og byggeaktivitet i Norge. Lovverket gir kommunen mulighet til å styre ny utbygging til områder som er mindre sårbare for klimaendringer eller der man kan gjennomføre tiltak i forkant, som gjør området mindre sårbart. Arealplanlegging er sentralt for å forebygge tap og skader som følge av flom og skred.

Ifølge sivilbeskyttelsesloven spiller kommunene en nøkkelrolle når det kommer til samfunnssikkerhet. Kommunen skal jobbe systematisk og helhetlig med samfunnssikkerhetsarbeidet på tvers av sektorer, med sikte på å redusere risiko for tap av liv eller skade på helse, miljø og materielle verdier. Bestemmelsene om kommunal

beredskapsplikt retter seg mot uønskede hendelser som utfordrer kommunene, enten de forekommer i fredstid, ved en sikkerhetspolitisk krise, eller ved væpnet konflikt (DSB 2018).

Kommunens helhetlige risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS) skal kartlegge, systematisere og vurdere sannsynligheten for uønskede hendelser som kan inntreffe i kommunen, og hvordan disse kan påvirke kommunen. Dette kan være naturhendelser som ekstremvær, flom, skred, epidemi, skogbrann, jordskjelv, men også store ulykker og utilsiktede hendelser. Helhetlig ROS skal omfatte eksisterende og fremtidige risiko- og sårbarhetsfaktorer i kommunen, og bør derfor også ta hensyn til klimaendringer.

Kommuner og fylkeskommuner har en sentral rolle i arbeidet med klimatilpasning. Statlige planretningslinjer for klima- og energiplanlegging og klimatilpasning (SPR) gir føringer for kommunenes, fylkeskommunenes og statens arbeid. Formålet med disse retningslinjene er å bidra til at kommunene ivaretar klimatilpasning i alle ledd av samfunnsplanleggingen og at de bruker et bredt spekter av roller og virkemidler i arbeidet med klimatilpasning. Videre skal retningslinjene bidra til avveining og samordning når klimatilpasning berører eller kommer i konflikt med andre hensyn eller interesser. Kommunene skal i sin planstrategi beskrive utviklingstrekk og utfordringer, herunder knyttet til dagens og fremtidens klima, og innarbeide ny kunnskap i planene, slik som for eksempel nye farekart. Når offentlige myndigheter i dag bestiller slike farekart, publiseres kartene som hovedregel digitalt, og blir tilgjengelige for alle.

Utfordringer ved skredfare vil imidlertid i noen tilfeller være for store til at kommunene klarer å håndtere dem alene, og de kan derfor ha behov for statlig bistand, både i form av kompetanse om skred, og ressurser til kartlegging, overvåking og sikring (Meld. St. 22, 2007–2008). Av denne grunn ble det i samme stortingsmelding foreslått at statlige forvaltningsoppgaver innen skredforebygging ivaretas av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), og at NVE skal bistå kommunene og samfunnet for øvrig med å håndtere utfordringene knyttet til flom og skred gjennom farekartlegging, arealplanoppfølging, gjennomføring av sikringstiltak, overvåking og varsling, samt bistand ved hendelser.

Forebygging av skredulykker inkluderer flere aktiviteter, blant annet farekarakterisering, aktsomhetsanalyse, fareanalyse og farekartlegging, og sårbarhets- og risikoanalyse. Skredrisiko kan reduseres med god arealplanlegging (ved å tilpasse arealbruk til skredfaresitasjonen, og ved å unngå utbygging i fareområder), og med fysiske sikringstiltak, som avhengig av funksjonsmåte reduserer sannsynlighet for, eller konsekvenser av, skred. Slike tiltak må gjennomføres før en hendelse inntreffer. Relevante spørsmål for å gjennomføre forebyggende tiltak er: Hvilke naturfaretyper kan forekomme, og i hvilket

omfang? Har slike hendelser forekommet i dette området tidligere? Kan dette skje igjen? Hvor? Når? Hvilket gjentaksintervall? Hvilke sårbare objekter finnes i fareområdene, og hvor mye er de verdt? Hvor stor er risikoen? Kan risikoen reduseres? Hvordan? Hvilke tiltak kan iverksettes?

Et avgjørende spørsmål er i tillegg hvilken risiko samfunnet aksepterer. Det er imidlertid verken samfunnsøkonomisk lønnsomt eller praktisk mulig å fysisk sikre all flom- og skredutsatt bebyggelse slik at all risiko fjernes. Samfunnet må ha en beredskap for å håndtere hendelser som rammer områder som ikke er sikret og hendelser som går ut over det sikringstiltak er dimensjonert for. Liv og verdier beskyttes gjennom tidlig varsling, evakuering og utføring av skadebegrensende tiltak.

Under akutthåndtering av skredsituasjoner inngår også redningsoperasjoner, leteaksjoner og medisinsk innsats. Den resterende risikoen (som gjenstår etter samtlige tiltak) overføres til forsikringsselskapene gjennom naturskadeforsikringsordningen.

Kostnader til sikring

Verktøykassen for sikring mot skred er relativt velfylt selv om det fremdeles forskes på nye og innovative former for sikringstiltak (se eget kapittel om forskningsaktiviteter i prosjektet *Klima 2050*): En database, og et verktøy med mulighet for å finne relevant sikringsmetoder for et konkret skredfaretilfelle, er å finne i det *Klima 2050*-utviklede web-verktøyet *LaRiMiT* (www.larimit.com).

Det brukes i dag årlig hundrevis av millioner kroner til sikring av bebyggelse og infrastruktur. Ikke desto mindre viser utallige skredtilfeller at behovet er langt større. Kostnyttevurderinger blir derfor i så måte sentrale. I prosjektet *Flom og skred – sikringsbehov for eksisterende bebyggelse (FOSS)* (NVE 2021) har det blitt utviklet en metodikk som gjør det mulig å analysere hvor mye det vil koste å sikre eksisterende bebyggelse i Norge mot flom og skred.

Sikringsbehovet er diskutert i et klimaperspektiv frem mot år 2100, og med bruk av utslippsscenariet RCP8.5 (høye utslipp), i tråd med Meld. St. 33 (2012–2013) *Klimatilpasning i Norge* og statlig planretningslinje (SPR) om klimatilpasning.

Sentrale elementer i metodikken som er utviklet, er faresonekart og aktsomhetskart for de ulike naturfarene, oversikt over hvilken bebyggelse som ligger utsatt til, samt erfaringstall for hva det koster å sikre bebyggelse mot flom og skred, der det er brukt erfaringstall fra NVEs regionkontorer.

Sikkerhetskravene i byggt teknisk forskrift (TEK17) er lagt til grunn for beregning av sikringsbehovet. Dette innebærer en sikring for definerte gjentakintervall for flom og skred for ulike typer bygg; for bolighus typisk 200 års gjentakintervall for flom og 1000 års gjentakintervall for skred. For kvikkleire, der sikringsbehovet ikke er relatert til et gitt gjentakintervall, er sikringsbehovet vurdert utfra kriterier i NVEs veileder *Sikkerhet mot kvikkleireskred* (1/2019).

Det er betydelige usikkerheter rundt beregningene, men et beste estimat viser at det vil koste rundt 85 milliarder kroner å sikre alle bygg som er utsatt for skred som løsner i bratt terreng, flom, erosjon og naturlig utløste kvikkleireskred. I tillegg kommer kostnader til sikring av infrastruktur som jernbane og veg. De totale beregnede sikringskostnadene utgjør et vesentlig høyere beløp enn det som brukes i dag. NVE brukte ca. 3 milliarder til sikringstiltak i perioden 2009–2020. Det betyr at man med dagens bevilgningsnivå vil måtte holde på i 250–300 år for å få gjennomført sikring av eksisterende bebyggelse. Dette innebærer at det må gjøres strategiske valg med hensyn til prioritering av hvilke sikringstiltak som skal gjennomføres først, og i hvilket omfang, både med tanke på samfunnsnytte og personlige belastninger for de som er eksponert for flom- og skredfare.

Varsling

Som beskrevet over, er det åpenbart at det er umulig å sikre all bebyggelse og infrastruktur mot skred. Bruk av varslingssystemer er derfor et annet verktøy som kan brukes for å redusere skredrisiko i sammenheng med klimaendringer. Selv om varsling i seg selv ikke reduserer skredfaren, vil effektiv varsling kunne redusere konsekvensene av skredhendelser, særlig hva angår potensielle skader og tap av menneskeliv. Dette gjøres eksempelvis ved å knytte evakuering fra utsatt bebyggelse til overskridelse av et gitt terskel-/farenivå. Tilsvarende kan man regulere trafikk langs utsatte veg-/jernbanestrekninger ut fra antatt aktuell skredfare.

En sentral parameter i forbindelse med skredfare er vann, der nedbør og snøsmelting er de primære bidragene til endrede stabilitetsforhold. Regionale varslingssystemer er basert på konseptet med å overvåke og forutsi værmønstre, kombinert med underliggende fysiske modeller av terreng og grunnforhold. Ved å kombinere overvåking i form av værdata, med de fysiske modellene, kan man så forutse farenivå for skredutløsning.

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) driver en landsdekkende skredvarslings- og varslingstjeneste. Den nettbaserte portalen *varsom.no* gir alminnelig tilgang til denne tjenesten, som gir daglig oppdatert informasjon og varsler om jordskredfare, samt andre farer som flom og snøskred. Informasjonen presenteres i et svært intuitivt, grafisk format ved hjelp

av tall og farger for å indikere forventet skredrisiko for en 3-dagers periode. Tjenesten gir også undervisningsmateriell, informasjonsbulletiner og lar enkeltpersoner abonnere på målvarslingstjenester for bestemte områder eller regioner.

Varsom.no og lignende systemer er utviklet for å være virksomme for varsling på regional skala. Per i dag har vi ikke grunnlag til å implementere slike varslingssystemer for individuelle skråninger eller små områder, hovedsakelig fordi værvarslingen ikke er nøyaktig nok til å presisere svært lokale forekomster av ekstrem nedbør, og for at stabilitetsforholdene for en gitt skråning normalt ikke er kjent (grunnforhold, poretrykksituasjon mm.). Varslingssystemer på lokalt nivå baseres derfor ofte på direkte målinger, for eksempel poretrykk i stedlige masser i skråningen. Slike målinger gir svært gode data, men er kostnadsdrivende i form av innkjøp, installasjonsarbeid, samt oppfølging og vedlikehold. Videre gjelder dataene kun for den aktuelle skråningen der instrumentene er plassert, selv om skråningen eventuelt kan betraktes som representativ for sammenlignbare skråninger i nærområdet.

Forskning i *Klima 2050*

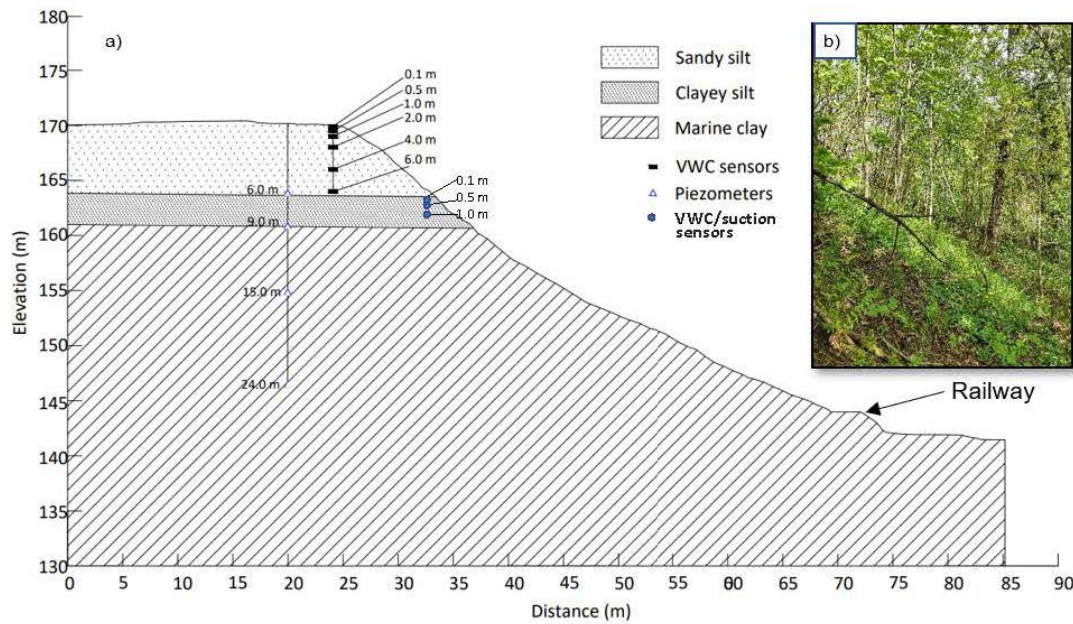
I Senter for Forskningsdrevet Innovasjon, SFI-prosjektet *Klima 2050* (www.klima2050.no) er NGI ansvarlig for aktiviteter knyttet til håndtering av vannutløste skred. Hensikten er å utvikle innovative metoder for bedre å sikre seg mot slike skred, som jo forventes å skje hyppigere i fremtiden. I det følgende gis noen smakebiter på forskningsoppgaver (piloter) som blir testet ut i dette prosjektet.

Lokal skredvarsling (Eidsvoll og Trollstigen)

Hovedmålet for dette pilotprosjektet er å kunne utføre lokal varsling av fare for skred basert på kontinuerlige målinger av relevante parametre. Pilotområdet ligger i Eidsvoll kommune i verneområdet til Eidsvoll kirke, et kulturminneområde som skal bevares med historie helt tilbake til 1100-tallet. Av den grunn kan ingen strukturelle sikringstiltak iverksettes i de øvre, bratte deler av skråningen. Skråningen er 25–30 meter høy, med en helning på omtrent 45° i øvre del (Heyerdahl m.fl. 2018). Skråningen utgjør en fare for jernbanelinjen som ligger ved foten av skråningen. Det er derfor installert sensorer for å måle forskjellige parametere i skråningen, slik som jordfuktighet, bakketemperatur, kapillært sug og poretrykk (figur 4 og 5). Disse målingene benyttes så i modeller for å vurdere terskelverdier for utløsning av skred (Piciullo m.fl. 2017), noe som i neste omgang kan benyttes for varsling av skred for den aktuelle skråningen.



Figur 4



Figur 5

Et annet pilotprosjekt som bruker varsling som verktøy for skredsikring, gjennomføres i Trollstigen. Her undersøkes muligheten for å benytte små radarsystemer som overvåker svært lokale forhold, da som et supplement til regionale systemer. Disse dataene, kombinert med lokale målinger av nedbør, temperatur og vannføring i bekker og elver, undersøkes som et mulig tiltak for å kunne utføre risikovurdering for lokale områder, for eksempel for en enkelt dal, et fjellplatå eller til og med en enkelt skråning.

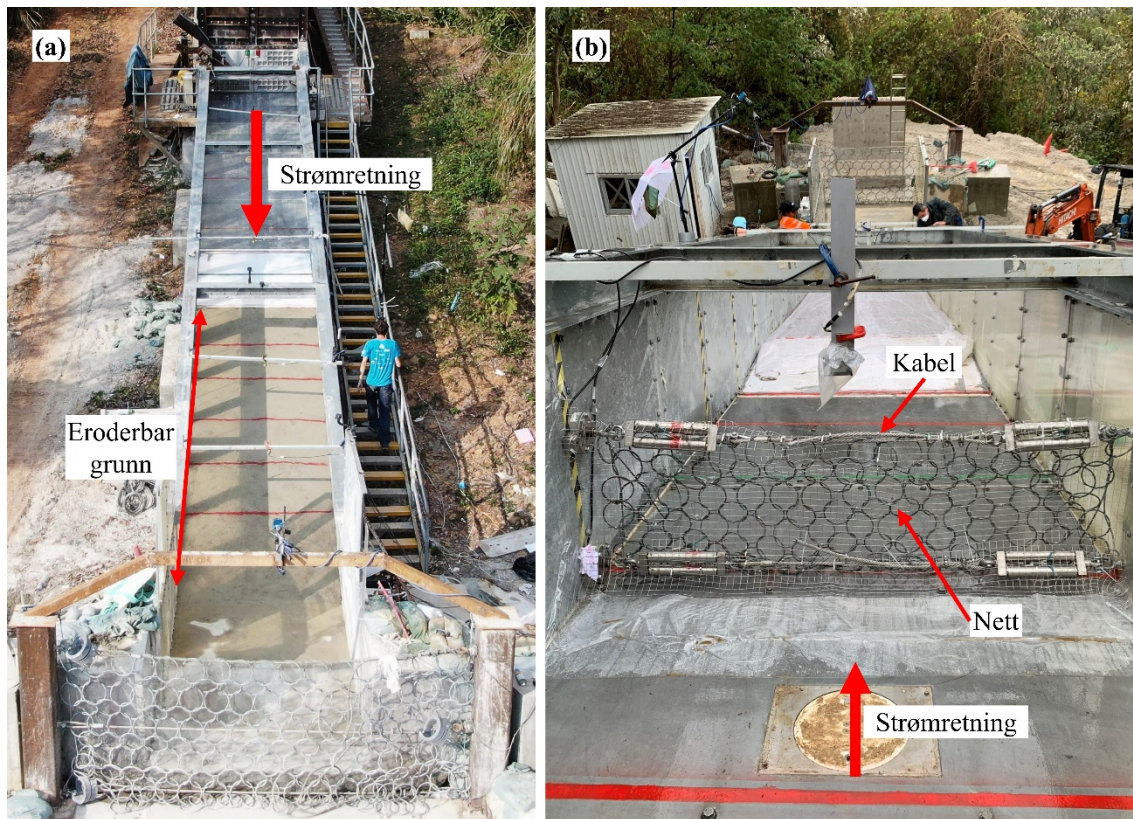
Naturbaserte løsninger for skredsikring

Vannutløste utglidninger i naturlige skråninger og jordskjæringer er et stort problem langs store deler av det norske veg- og jernbanenettet. I prosjektet *Klima 2050* utvikles det kostnadseffektive metoder som kan begrense risikoen knyttet til slike utglidninger. I verktøyboksen LaRiMiT (www.larimit.com), utviklet i *Klima 2050*, er det mer enn 80 tiltak tilgjengelig for å sikre seg mot ulike former for skred. Verktøyboksen inkluderer også mer enn 10 naturbaserte løsninger (NBS), eller såkalte hybride løsninger, som er kombinasjoner av standard løsninger og NBS (Kalsnes m.fl. 2018). De aller fleste naturbaserte sikringsmetodene er relaterte til erosjon eller overflateskred, og består gjerne av vegetasjon

eller andre former for *soil-bioengineering*-teknikker. Vegetasjonen vil både ha en drenerende effekt og virke forsterkende på overflatelaget, slik at motstanden mot grunne skred skal øke. Avhengig av årstid og biologisk aktivitet vil også vegetasjonen suge opp noe vann.

Modelltesting av flomskred

Flomskred øker vanligvis i volum ved å at masser eroderes langs strømningsveien til det pågående skredet. Dette kan omfatte jord, væske, steiner og trær. Bunnerosjonen i strømningskanalen kan øke skredvolumet og evt. last på bygninger og infrastruktur fra skredstrømmen. For å redusere en slik volumøkning som følge av bunnerosjon og medrivning, kan det bygges avbøtende tiltak i strømningskanalen ovenfor utsatt bebyggelse eller annen infrastruktur. Fleksible barrierer er lette konstruksjoner som enkelt kan monteres i bratte og utilgjengelige raviner, som vi finner mange steder i Norge. En fleksibel barriere er laget av et ringnett, som holder på jord og andre materialer, og kabler som overfører belastningen fra strømmen til et fundament. For bedre å forstå påvirkningen av en fleksibel barriere på medføring av denne massestrømmen, ble det utført en serie storskala-tester i en testrenne for flomskred i Hong Kong (Vicari m.fl. 2021). Et eroderbart lag ble preparert og lagt ut i nedre del av kanalen (figur 6). Det ble utført to tester med startvolum på henholdsvis $2,5 \text{ m}^3$ og 6 m^3 . I disse to testene ble nesten alt det eroderbare materialet trukket med i massestrømmen. En ekstra test ble utført med et startvolum på 6 m^3 og installering av en fleksibel barriere (figur 6b) oppstrøms det eroderbare jordlaget. Den fleksible barrieren holdt tilbake en del av det opprinnelige strømningsvolumet. Høye støtkrefter ble målt i kablene til den fleksible barrieren; disse kreftene kommer fra den dynamiske belastningen fra strømmen. Etter sammenstøtet med den fleksible barrieren, sank høyden og hastigheten på strømmen nedstrøms, noe som førte til lavere erosjon i kanalen nedenfor barrieren sammenlignet med det som ble observert i testene uten den fleksible barrieren. Resultatene fra testene viser at fleksible barrierer installert oppstrøms en skredkanal, potensielt kan hindre volumveksten av massestrømmen.



Figur 6

Referanser og videre lesning

DSB. (2018). Veileder til forskrift om kommunal beredskapsplikt, DSB Tema, april 2018.

Meld. St. 22 (2007-2008) Samfunnssikkerhet— Samvirke og samordning, [St.meld. nr. 22 \(2007-2008\) - regjeringen.no](#)

Hanssen-Bauer I, Førland EJ, Haddeland I, Hisdal H, Mayer S, Nesje A, Nilsen JEØ, Sandven S, Sandø AB, Sorteberg A, Ådlandsvik B (2015). Klima i Norge 2100 Kunnskapsgrunnlag for klimatilpasning oppdatert i 2015. Oslo: Hentet fra

<https://cms.met.no/site/2/klimaservicesenteret/rapporter-og-publikasjoner/attachment/6616?ts=14ff3d4eeb8>

Heyerdahl H, Høydal OA, Kvistedal Y, Gisasnas KG, Carotenuto P 2018. Slope instrumentation and unsaturated stability evaluation for steep natural slope close to railway line. I UNSAT 2018: *The 7th International Conference on Unsaturated Soils*.

IPCC, 2014: AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. Intergovernmental Panel on Climate Change.

Kalsnes B, Capobianco V 2019: Nature-Based Solutions. Landslides Safety Measures. Klima 2050 Report 16. Trondheim 2019. ISBN:978-82-536-1638-4.

Myhre G, Alterskjær K, Stjern CW, Hodnebrog Ø, Marelle L, Samset BH, Sillmann J, Schaller N, Fischer E, Schulz M og Stohl A (2019) Frequency of extreme precipitation increases extensively with event rareness under global warming. *Scientific reports*, 9(1), 1-10. Hentet fra <https://www.nature.com/articles/s41598-019-52277-4.pdf>

NVE 2021. Flom og skred - sikringsbehov for eksisterende bebyggelse (FOSS). *NVE rapport* 20/2021, mai 2021.

Piciullo L, Gariano SL, Melillo M, m.fl. 2017. Definition and performance of a threshold-based regional early warning model for rainfall-induced landslides. *Landslides* 14: 995–1008. <https://doi.org/10.1007/s10346-016-0750-2>

Vicari H, Ng CWW, Nordal S, Thakur V, De Silva WARK, Liu H, og Choi CE 2021. The Effects of Upstream Flexible Barrier on the Debris Flow Entrainment and Impact Dynamics on a Terminal Barrier. *Canadian Geotechnical Journal*, Just-IN: 1–37. doi:10.1139/cgj-2021-0119.